شناسایی شرایط مرزی تیر یک‌سرگیردار در تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر*

حسن جلالی[۱]   فهیمه نوحی[۲]

چکیده *سازه‌های مکانیکی اغلب دارای اتصالات یا شرایط مرزی هستند که دینامیک سازه را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدل‌سازی دینامیکی سازه‌های مکانیکی مستلزم شناخت و مدل‌سازی دقیق اتصالات موجود در سازه و یا شرایط مرزی سازه می‌باشد. در این مقاله شناسایی سطوح تماس خطی در شرایط مرزی تیر یک‌سرگیر در تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر (غیرصلب) مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا روشی بر پایهٔ استفاده از فرکانس‌های طبیعی برای تعیین پارامترهای شرایط مرزی معرفی می‌شود. درادامه دقت روش معرفی شده بااستفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های تجربی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج شناسایی مبین دقت روش مورد استفاده می‌باشد.*

واژه‌های کلیدی شرایط مرزی; تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر; شناسایی پارامترها.

Boundary Condition Identification of a Clamped Beam in the Flexible Support

H. Jalali   F. Noohi

Abstract *Mechanical structures usually contain joints or boundary conditions which affect their dynamic characteristics. Dynamic modeling of mechanical structures depends upon precise modeling of joints or boundary conditions. In this paper identification of boundary conditions of a clamped beam in flexible (non-rigid) support is considered. An identification approach for support parameters is introduced based on using natural frequencies. Simulated and experimental case studies are used to show the applicability of the introduced model. The results show the accuracy of the proposed method.*

Key Words Boundary conditions; flexible support; Parameters identification

---

*تاریخ دریافت مقاله ۹۴/۶/۱ و تاریخ پذیرش آن ۹۴/۱۱/۲۱ می‌باشد. DOI: 10.22067/fum-mech.v28i2.49301

(۱) نویسندهٔ مسئول: دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک. Jalali@arakut.ac.ir

(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک.

مقدمه

شرایط مرزی نقش کلیدی در تعیین رفتار دینامیکی و مشخصه‌های مودال سازه‌های مکانیکی دارند. از این‌رو ایجاد مدل‌های دینامیکی دقیق برای شرایط مرزی در تحلیل دینامیکی سازه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی سازه‌های واقعی دارای شرایط مرزی و اتصالات کار ساده‌ای نیست. روش‌های زیادی در گذشته برای شناسایی پارامترهای اتصالات مکانیکی و یا شرایط مرزی ارائه شده است. باید توجه داشت که به‌کارگیری اکثر روش‌های شناسایی پارامتر، مستلزم درک فیزیکی درستی از سازه می‌باشد که خود مستلزم انتخاب پارامترهایی است که خطای مدل‌سازی را کاهش دهد و هم‌چنین پاسخ سازه به این پارامترها حساس باشد.

مطالعات بسیاری در زمینهٔ شناسایی پارامترهای اتصال و شرایط مرزی با روش‌های مختلف و به‌ویژه روش به‌هنگام‌سازی صورت گرفته است. گئو و همکارانش [1] از یک روش برای شناسایی پارامترهای اتصال پیچی استفاده کردند. در روش آنها از شرایط مرزی حاکم بر تیر، معادلهٔ مشخصه و فرکانس های طبیعی برای شناسایی پارامترهای اتصال استفاده می‌شود. وال و همکارانش [2] یک اتصال تیر–ستون را براساس داده‌های مودال مدل‌سازی و تصحیح کردند. شناسایی پارامترهای اتصال این سازه با کمینه نمودن اختلاف بین فرکانس‌های طبیعی تحلیل اجزای محدود و آزمایش صورت گرفته است. گانت و همکارانش [3] یک مدل ساده‌شده از سختی اتصال را تعریف و به‌هنگام‌سازی کردند. هدف از این کار، تعریف یک مدل خطی ساده از اتصالات استفاده‌شده در هوافضا و اثبات کارایی این مدل می‌باشد. تول و ازگوون [4] یک روش شناسایی تجربی براساس تجزیهٔ تابع پاسخ فرکانسی و الگوریتم بهینه‌سازی برای مدل‌سازی اتصالات ارائه کردند. مشخصه‌های اتصال در ترم‌هایی از مقادیر سختی و میرایی خطی و پیچشی و بااستفاده از تجزیهٔ تابع پاسخ فرکانسی محاسبه شده است. کائو و همکارانش [5] روش شناسایی پارامترهای اتصال تیر یک‌سرگیردار را براساس مدل‌سازی اجزای محدود و تابع پاسخ فرکانسی ارائه کردند. در این مقاله آنها از یک الگوریتم تکراری براساس حساسیت برای کمینه کردن نرم (Norm) باقی ماندهٔ تابع پاسخ فرکانسی و روش حداقل مربعات برای حل معادلهٔ تکرارشونده استفاده کردند. هانگ [6] تکنیک‌های شناسایی پارامترهای اتصال سازه را بااستفاده از تابع پاسخ فرکانسی ارائه داده است. روش شناسایی ضرایب سختی و میرایی باکمک توابع پاسخ فرکانسی، روی فرکانس‌های طبیعی کار می‌کند، به‌نحوی که پارامترهای اتصال برای هر فرکانس تعیین می‌شود و با روش‌های آماری از آنها میانگین‌گیری می‌گردد و شناسایی دقیق صورت می‌پذیرد. زانگ و همکارانش [7] به شناسایی پارامترهای اتصال در سازه‌های تیرمانند پرداختند. این مقاله یک روش معکوس را ارائه می‌دهد که برای تخمین اتصال سازه‌های یک‌بعدی مانند لوله قابل کاربرد است. احمدیان و همکارانش [8] یک روش جدید برای تعیین پارامترهای شرایط مرزی براساس معادلهٔ مشخصهٔ کاهش مرتبه یافته ارائه کردند. مرتبهٔ معادلهٔ مشخصهٔ غیرخطی برابر با تعداد درجات آزادی در مرز سازه می‌باشد که بخش کوچکی از مرتبهٔ سازه کامل است. درنتیجه میزان محاسبات برای تعیین شرایط مرزی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. لی [9] یک روش به‌هنگام‌سازی برپایهٔ استفاده از معادلهٔ مشخصه کاهش مرتبه یافته برای تعیین شرایط مرزی سازه‌های تیرمانند ارائه کرد. جلالی [10] روشی براساس استفاده از معادلهٔ مشخصه کامل سازه برای تعیین پارامترهای سطوح تماس خطی ارائه نمود. روش ارائه‌شده بااستفاده از نتایج تجربی برای شناسایی پارامترهای اتصالات پیچی خطی مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله روش ارائه شده توسط جلالی [10] برای شناسایی پارامترهای

شرایط مرزی تعمیم داده می‌شود. در مقالهٔ مذکور به شناسایی پارامترهای سختی اتصالات پیچی بااستفاده از نتایج تجربی پرداخته شده است.

در این مقاله به شناسایی پارامترهای سختی شرایط مرزی بااستفاده از نتایج شبیه‌سازی شده و تجربی پرداخته می‌شود. برای این منظور یک تیر با تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر مدل‌سازی دینامیکی می‌شود و روابط مربوط به معادلهٔ مشخصهٔ آن استخراج می‌شود. بااستفاده از معادلهٔ مشخصه روشی برای شناسایی پارامترهای شرایط مرزی معرفی می‌شود. به‌منظور ارزیابی روش معرفی‌شده، ابتدا از یک سازهٔ شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود. فرکانس‌های طبیعی سازه و تخمین ضرایب سختی تکیه‌گاه بااستفاده از مدل‌سازی و تحلیل اجزای محدود برای این سازه به‌دست می‌آیند. بااستفاده از فرکانس‌های طبیعی و به‌کارگیری روش شناسایی معرفی‌شده، پارامترهای سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر شناسایی و با مقادیر تخمین‌زده‌شده مقایسه می‌شوند. درادامه برای ارزیابی بیشتر روش معرفی شده از نتایج فرکانس‌های طبیعی به‌دست آمده از یک سازهٔ واقعی استفاده و مشخصات سختی تکیه‌گاه سازه شناسایی می‌شوند. در قسمت بعد به تشریح صورت مسئلهٔ مورد بررسی در این مقاله پرداخته می‌شود.

تشریح صورت مسئله

یک سازهٔ تیرمانند با سطح مقطع مستطیلی که در یک انتها توسط تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر ثابت شده و انتهای دیگر آن آزاد است، مطابق شکل (۱- الف) مورد بررسی قرار می‌گیرد. پارامترهای سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر باعث تغییر مشخصه‌های مودال تیرمانند فرکانس‌های طبیعی و شکل مودهای آن می‌شود. بنابراین بااستفاده از مشخصه‌های مودال تجربی شبیه‌سازی شده و استفاده از یک روش شناسایی می‌توان پارامترهای سختی تکیه‌گاه را تعیین نمود.

به‌منظور شناسایی، از مدل‌سازی دینامیکی سازهٔ تیرمانند استفاده می‌شود. در مدل‌سازی ریاضی سازهٔ مذکور که در شکل (۱-ب) نشان داده‌شده است، قسمت تیری توسط تئوری تیر اویلر-برنولی و اثر تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر تیر به‌صورت ترکیبی از یک فنر پیچشی با سختی k_θ حول محور z و یک فنر خطی با سختی k_w در راستای تغییر شکل عرضی تیر مدل می‌شود. لازم به‌ذکر است فنرهای خطی و پیچشی به‌عنوان سختی معادل تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر تیر در مدل ریاضی منظور می‌شوند. مشخصات سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر بر پاسخ دینامیکی سازه و به‌ویژه فرکانس‌های طبیعی آن تأثیرگذار است. هدف در این مقاله، شناسایی پارامترهای سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر بااستفاده از فرکانس‌های طبیعی است. در قسمت بعد مدل‌سازی دینامیکی تیر ارائه می‌شود.

مدل‌سازی دینامیکی

همان‌گونه که پیشتر عنوان شد، در این مقاله شناسایی پارامترهای تکیه‌گاه تیر بااستفاده از فرکانس‌های طبیعی آن انجام می‌شود. در این قسمت مدل‌سازی دینامیکی به‌منظور تعیین فرکانس‌های طبیعی سازه ارائه می‌شود. برای محاسبهٔ فرکانس‌های طبیعی از مدل‌سازی دینامیکی سازهٔ نشان داده‌شده در شکل (۱-ب) استفاده می‌شود. تئوری تیر اویلر- برنولی برای مدل‌سازی این سازه به‌کار گرفته شده است. معادلهٔ حاکم بر ارتعاش آزاد سازهٔ تیرمانند به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\boldsymbol{EI}\frac{\partial^4 \boldsymbol{w}}{\partial \boldsymbol{x}^4}+\boldsymbol{\rho A}\frac{\partial^2 \boldsymbol{w}}{\partial \boldsymbol{t}^2}=0 \qquad (۱)$$

در معادلهٔ فوق w(x,t) تغییر شکل عرضی تیر، E مدول الاستیسیته، I ممان دوم سطح مقطع تیر، ρ چگالی حجمی و A مساحت سطح مقطع تیر می‌باشد.

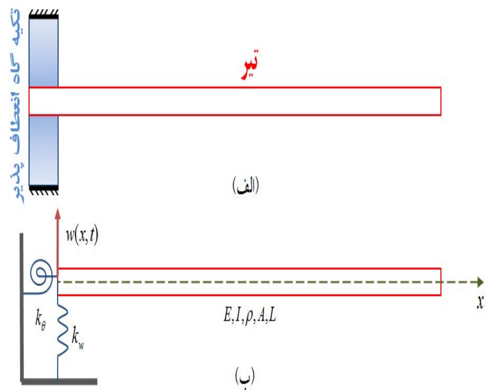
شرایط مرزی حاکم بر سازهٔ نشان داده‌شده در شکل (۱-ب) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$EI\left.\frac{\partial^3 w(x,t)}{\partial x^3}\right|_{x=0}+k_w\, w(x,t)\big|_{x=0}=0 \qquad (۲)$$

$$EI\left.\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2}\right|_{x=0}-k_\theta\left.\frac{\partial w(x,t)}{\partial x}\right|_{x=0}=0 \qquad (۳)$$

$$EI\left.\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2}\right|_{x=L}=0\ ,\quad EI\left.\frac{\partial^3 w(x,t)}{\partial x^3}\right|_{x=L}=0 \qquad (۴-۵)$$

روابط (۲ و ۳) به‌ترتیب تعادل نیروهای برشی و گشتاورهای خمشی تیر در محل تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر را نشان می‌دهد. چون تغییر شکل تیر در محل تکیه‌گاه بسیار ناچیز می‌باشد، از اثرات اینرسی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر صرف‌نظر شده است. همان‌گونه که در قسمت‌های بعد بررسی خواهد شد اثرات جرمی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر در مودهای پایین ناچیز و قابل صرف‌نظر نمودن است.



شکل ۱ الف) سازهٔ تیرمانند با تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر، ب) مدل ریاضی سازه

از آن‌جا که هدف محاسبهٔ فرکانس‌های طبیعی سازهٔ تیرمانند می‌باشد، پاسخ ارتعاش آزاد تیر نشان داده‌شده در شکل (۱-ب) را می‌توان به‌صورت $w(x,t) = Y(x)\sin(\omega t)$ در نظر گرفت. در این رابطه $Y(x)$ تابع شکل مود سازهٔ تیرمانند (یعنی تیر به‌همراه تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر) و ω فرکانس طبیعی تیر می‌باشد. با تغییر پارامترهای سختی تکیه‌گاه فرکانس‌های طبیعی - ω - و شکل مودهای سازه- $Y(x)$ - تغییر می‌کنند. پاسخ ارتعاش آزاد باید معادله حاکم بر نوسان تیر (معادلهٔ ۱) و شرایط مرزی (معادلات ۲-۵) را ارضا کند. با جای‌گذاری پاسخ ارتعاش آزاد درون معادلات (۱-۵) خواهیم داشت:

$$Y''''(x)-\lambda^4 Y(x)=0,\qquad \lambda^4=\rho A\omega^2/EI \qquad (۶)$$

$$EIY'''(0)+k_w Y(0)=0 \qquad (۷)$$

$$EIY''(0)-k_\theta Y'(0)=0 \qquad (۸)$$

$$EIY''(L)=0\ ,\quad EIY'''(L)=0 \qquad (۹-۱۰)$$

معادلهٔ (۶) معادلهٔ حاکم بر شکل مودهای سازهٔ تیرمانند می‌باشد. با حل معادلهٔ (۶) تابع شکل مودهای سازهٔ نشان داده‌شده در شکل (۱-ب) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید،

$$Y(x)=C_1\sin(\lambda x)+C_2\cos(\lambda x)+C_3\sinh(\lambda x)+C_4\cosh(\lambda x) \qquad (۱۱)$$

تابع شکل مود معرفی‌شده در رابطهٔ (۱۱) باید شرایط ذکر شده در روابط (۷-۱۰) را برآورده کند. با جای‌گذاری رابطهٔ (۱۱) درون معادلات (۷-۱۰) به دسته معادلاتی به این شکل می‌رسیم:

$$[D(\omega)]\{c\}= \begin{bmatrix} -\lambda^3 & k_1 & \lambda^3 & k_1 \\ -k_2 & -\lambda & -k_2 & \lambda \\ -\cos(\lambda L) & \sin(\lambda L) & \cosh(\lambda L) & \sinh(\lambda L) \\ -\sin(\lambda L) & -\cos(\lambda L) & \sinh(\lambda L) & \cosh(\lambda L) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

(۱۲)

در رابطـــهٔ (۱۲) $k_1 = \frac{k_w}{EI}$ و $k_2 = \frac{k_\theta}{EI}$. دســـته معادلات معرفی‌شده در رابطـهٔ (۱۲) در صـورتی دارای جواب غیر صفر می‌باشند که $|D(\omega)| = 0$. این معادلـه به‌عنوان معادلهٔ مشخصهٔ سازه شناخته می‌شود. بـا حـل معادلهٔ مشخصه فرکانس‌های طبیعی به‌دست می‌آیند. بـا جای‌گذاری فرکـانس‌هـای طبیعـی درون معادلـهٔ (۱۲) می‌توان ضرایب شکل مود متناظر با هر فرکانس طبیعی را به‌دست آورد. درادامه بااستفاده از مـاتریس $[D(\omega)]$ روشی برای شناسایی پارامترهای شرایط مرزی تیر ارائه می‌شود.

روش شناسایی پارامترهای شرایط مرزی

همان‌گونه که در قسمت قبل عنوان شد با حـل معادلـهٔ مشخصهٔ سازه فرکانس‌های طبیعی بـه‌دسـت مـی‌آینـد. معادلـهٔ مشخصــه تـابعی از فرکـانس‌هـای طبیعـی و پارامترهای سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر می‌باشد. به این موضوع می‌توان از زاویهٔ شناسایی پارامترهـای سـختی شرایط مرزی تیر به این صورت نگریست که با داشـتن تعدادی از فرکانس‌های طبیعی و جای‌گذاری آنها درون معادلهٔ مشخصه، از آن‌جا که فرکانس‌های طبیعـی بایـد معادلهٔ مشخصـه را ارضـا کننـد، مـی‌تـوان پارامترهـای سـختی تکیـه‌گـاه را بـه‌دسـت آورد. روش شناسـایی پارامترهای سختی شرایط مرزی در ایـن قسـمت ارائـه می‌شود.

از آن‌جا که در ادامه بااستفاده از دترمینان مـاتریس $[D(\omega)]$ بـه شناسـایی پارامترهـا پرداختـه مـی‌شـود و به‌منظور نیل به هدف مورد نظر این مقاله، ابتدا ماتریس $[D(\omega)]$ به‌شکل زیر نوشته می‌شود،

$$D(\omega) = \bar{D}(\omega) + K_J = \begin{bmatrix} -\lambda^3 & 0 & \lambda^3 & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 & \lambda \\ -\cos(\lambda L) & \sin(\lambda L) & \cosh(\lambda L) & \sinh(\lambda L) \\ -\sin(\lambda L) & -\cos(\lambda L) & \sinh(\lambda L) & \cosh(\lambda L) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & k_1 & 0 & k_1 \\ -k_2 & 0 & -k_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(۱۳)

ماتریس K_J در معادلهٔ (۱۳) از پارامترهـای سـختی تکیه‌گاه تیر تشکیل شده است و می‌توان آن را بااستفاده از حاصـل‌ضـرب مـاتریس‌هـای سـطری و سـتونی و به‌شکل $K_J = k_1 u_1 v_1^T + k_2 u_2 v_2^T$ نوشت که در آن،

$$[u_1 \quad v_1 \quad u_2 \quad v_2] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad (۱۴)$$

$(i = 1,2)$، u_i و v_i، در معادلهٔ (۱۴) بردارهای پایـهٔ تشکیل دهندهٔ ماتریس سختی تکیه‌گـاه هسـتند. فـرض می‌شود n فرکانس طبیعی سازهٔ نشان داده‌شده در شکل (۱) از آزمـایش یـا شـبیه‌سـازی معلـوم مـی‌باشـند. فرکانس‌های طبیعی اندازه‌گیری یا شبیه‌سازی شده، باید معادلهٔ مشخصه را ارضا نمایند. با جای‌گذاری فرکـانس $\omega_j, j = 1,2,\dots,n$ درون رابطهٔ (۱۳) ماتریس $D(\omega_j)$ را می‌توان به‌شکل زیر مرتب نمود [10]،

$$D(\omega_j) = \hat{D}_s(\omega_j) + k_s u_s v_s^T \quad , \quad s = 1 or 2 \qquad (۱۵)$$

که در آن،

$$\hat{D}_1\left(\omega_j\right) = \bar{D}\left(\omega_j\right) + k_2 u_2 v_2^T \quad , \quad j = 1,2,\dots,n \qquad (۱۶)$$

$$\hat{D}_2\left(\omega_j\right) = \bar{D}\left(\omega_j\right) + k_1 u_1 v_1^T \quad , \quad j = 1,2,\dots,n \qquad (۱۷)$$

طبق معادلهٔ مشخصه $\left|D(\omega_j)\right| = 0$. بنابراین با دترمینان گرفتن از طرفین رابطهٔ (۱۵)، معادله‌ای برحسب پارامترهای مجهول شرایط مرزی به‌شکل زیر به‌دست می‌آید [11]،

$$P_j\left(k_1,k_2\right) = P_j\left(\{k\}\right) = \left|\hat{D}_s\left(\omega_j\right)\right| \left(1 + k_s v_s^T \hat{D}\left(\omega_j\right)^{-1} u_s\right) = 0, \quad j = 1,2,\dots,n \ \ , \ s = 1 or\ 2 \qquad (۱۸)$$

در رابطهٔ (۱۸) $\{k\} = [k_1, k_2]^T$ بردار پارامترهای مجهول شرایط مرزی می‌باشد. با نوشتن معادلهٔ (۱۸) برای همهٔ فرکانس‌های طبیعی اندازه‌گیری یا شبیه‌سازی شده، یک دسته معادلهٔ غیرخطی حاکم بر پارامترهای شرایط مرزی به‌شکل $P\{k\} = 0$ به‌دست می‌آید، که در آن $P = [P_1, P_2, \dots, P_n]^T$. به‌منظور تعیین پارامترهای مجهول می‌توان دسته معادلات غیرخطی را به‌صورت عددی حل نمود. با فرض مقادیری اولیه برای پارامترهای مجهول شرایط مرزی و خطی‌سازی معادلات غیرخطی می‌توان پارامترهای مجهول را در یک فرآیند تکرار به‌دست آورد. بردار پارامترهای مجهول در مرحلهٔ تکرار r+1 از رابطهٔ $\{k\}^{r+1} = \{k\}^r + \{\delta k\}^r$ به‌دست می‌آید که در آن [10]،

$$\{\delta k\}^r = -\left(\frac{\partial P}{\partial\{k\}}\right)^{-1} P\left(\{k\}^r\right) \qquad (۱۹)$$

در رابطهٔ (۱۹)،

$$\frac{\partial P}{\partial\{k\}} = \begin{bmatrix} \Gamma_1(\omega_1)\left(v_1^T\hat{D}_1(\omega_1)^{-1}u_1\right) & \Gamma_2(\omega_1)\left(v_2^T\hat{D}_2(\omega_1)^{-1}u_2\right) \\ \Gamma_1(\omega_2)\left(v_1^T\hat{D}_1(\omega_2)^{-1}u_1\right) & \Gamma_2(\omega_2)\left(v_2^T\hat{D}_2(\omega_2)^{-1}u_2\right) \\ \vdots & \vdots \\ \Gamma_1(\omega_n)\left(v_1^T\hat{D}_1(\omega_n)^{-1}u_1\right) & \Gamma_2(\omega_n)\left(v_2^T\hat{D}_2(\omega_n)^{-1}u_2\right) \end{bmatrix} \qquad (۲۰)$$

$$P(\{k\}) = \begin{Bmatrix} \Gamma_1(\omega_1)\left(1 + k_1 v_1^T\hat{D}_1(\omega_1)^{-1}u_1\right) \\ \Gamma_1(\omega_2)\left(1 + k_1 v_1^T\hat{D}_1(\omega_2)^{-1}u_1\right) \\ \vdots \\ \Gamma_1(\omega_n)\left(1 + k_1 v_1^T\hat{D}_1(\omega_n)^{-1}u_1\right) \end{Bmatrix} \qquad (۲۱)$$

$$\Gamma_s\left(\omega_j\right) = \frac{\left|\hat{D}_s\left(\omega_j\right)\right|}{\left|\hat{D}_1\left(\omega_j\right)\right|}, s = 1,2 \ , j = 1,2,\dots,n \qquad (۲۲)$$

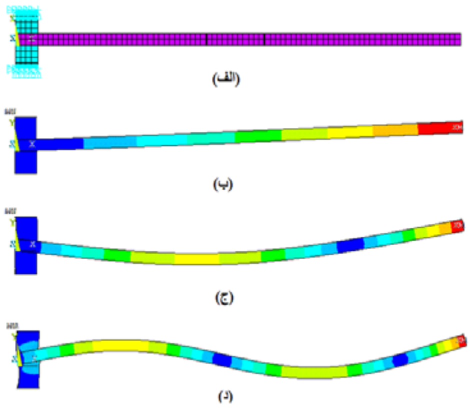
در قسمت بعد بااستفاده از فرکانس‌های طبیعی یک سازهٔ شبیه‌سازی شده به تعیین پارامترهای شرایط مرزی پرداخته می‌شود.

شناسایی توسط نتایج شبیه‌سازی

یک سازهٔ تیرمانند با سطح مقطع مستطیلی به ابعاد $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ و طول 40cm درنظر گرفته و در نرم‌افزار اجزای محدود ANSYS مدل‌سازی می‌شود. در جهت منظور نمودن اثرات شرایط مرزی، دو بلوک به‌ابعاد $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 1\text{cm}$ به‌عنوان تکیه‌گاه به وجوه بالایی و پایینی یک انتهای تیر مطابق شکل (۲) متصل می‌گردد. انتهای دیگر دو بلوک ثابت فرض می‌شود. جنس تیر از آلومینیم با مشخصات مواد $E_{Al} = 69$ Gpa، $\rho_{Al} = 2700\ \text{kg/m}^3$ و $\upsilon_{Al} = 0.33$ و جنس بلوک‌ها از لاستیک با خواص مواد $E_{Ru} = 100$ Mpa، $\rho_{Ru} = 690\ \text{kg/m}^3$ و $\upsilon_{Ru} = 0.45$ درنظر گرفته می‌شود. رفتار بلوک‌های لاستیکی خطی فرض می‌شود. برای مش‌بندی مدل اجزای محدود از المان solid185 استفاده شده است. با تحلیل مودال مدل اجزای محدود، فرکانس‌های طبیعی مودهای

خمشی آن استخراج می‌شوند. فرکانس‌های طبیعی مودهای خمشی در جدول (۱) و تعدادی از شکل مودها در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشند.

برای بررسی اثرات اینرسی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر روی فرکانس‌های طبیعی و شکل مودهای سازه، تحلیل مودال مدل اجزای محدود با بی جرم فرض نمودن بلوک‌های لاستیکی ($\rho_{Ru} = 0$) نیز انجام می‌شود. در جدول (۱) فرکانس‌های طبیعی برای حالت با و بدون جرم بودن بلوک‌های لاستیکی با هم مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که فرکانس‌های طبیعی نشان می‌دهند، اثرات جرمی بلوک‌های لاستیکی بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر نمودن می‌باشد. از این‌رو تحلیل دینامیکی انجام‌شده در قسمت‌های قبل با فرض ناچیز بودن اثرات اینرسی بلوک‌های جرمی قابل اعتبار است و درادامه برای شناسایی پارامترهای شرایط مرزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین به‌منظور بررسی اثر انعطاف‌پذیری بلوک‌ها (تکیه‌گاه‌های) لاستیکی روی فرکانس‌های طبیعی تیر، در جدول (۱) فرکانس‌های طبیعی تیر با شرایط مرزی صلب نیز ارائه شده است. همان‌گونه که نتایج فرکانس‌های طبیعی نشان می‌دهد، پس از استفاده از بلوک‌های لاستیکی به‌دلیل ایجاد انعطاف‌پذیری در تکیه‌گاه تیر، فرکانس‌های طبیعی به شدت کاهش می‌یابند.



شکل ۲ مدل اجزای محدود تیر با تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر (الف)، سه شکل مود خمشی اول (ب-د)

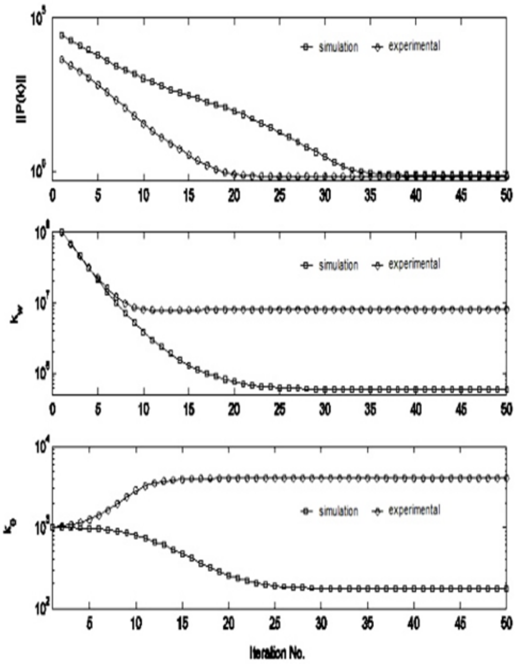
جدول ۱ مقایسهٔ فرکانس‌های طبیعی (Hz) برای نتایج شبیه‌سازی

	مود۱	مود۲	مود۳	مود۴
شبیه‌سازی (صلب)	۵۷/۰۷	۳۵۶/۸۲	۹۹۵/۲۴	۱۹۳۹/۵۳
شبیه‌سازی ($\rho_{Ru} \neq 0$)	۲۴/۴۱	۲۲۷/۷۸	۶۹۴/۲۴	۱۳۷۸/۲
شبیه‌سازی ($\rho_{Ru} = 0$)	۲۴/۴۱	۲۲۷/۸	۶۹۴/۷۳	۱۳۸۴/۹
شناسایی	۲۴/۴۰	۲۳۰/۴۳	۶۷۰/۲۴	۱۲۳۴/۸
خطا (٪)	-۰/۰۲	۱/۱۶	-۳/۴۶	-۱۰/۴۱

با جای‌گذاری فرکانس‌های طبیعی حاصل از تحلیل اجزای محدود (برای حالت $\rho_{Ru} \neq 0$) درون معادلات (۲۲-۱۸) و حل معادلهٔ (۱۹) به‌صورت تکرار، پارامترهای شرایط مرزی شناسایی می‌شوند. برای این منظور با انتخاب یک دسته مقادیر اولیه برای پارامترها ($k_{w0} = 1 \times 10^8$ N/m و $k_{\theta 0} = 1000$ Nm/rad) و حل معادلهٔ (۱۹) در تعداد تکرارهای مختلف، پارامترهای شرایط مرزی به‌دست می‌آیند. نمودار تغییرات تابع هدف یعنی $\|P(\{k\})\|$ و هم‌چنین پارامترهای شرایط مرزی در طول فرآیند شناسایی در شکل (۳) نشان داده‌شده است. پس از ۵۰ مرحله تکرار تابع هدف به‌سمت صفر همگرا می‌شود و پارامترهای شرایط مرزی به‌دست می‌آیند. پارامترهای شرایط مرزی به‌دست آمده برای تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر به‌ترتیب برابر با $k_w = 5.829 \times 10^5$ N/m و $k_\theta = 175.229$ Nm/rad می‌باشند. برای بررسی دقت مدل شناسایی‌شده، فرکانس‌های طبیعی آن با فرکانس‌های طبیعی سازهٔ واقعی باهم مقایسه می‌شوند. این مقایسه در جدول (۱) انجام شده است. خطای قابل قبول بین دو دسته از فرکانس‌های طبیعی (مدل شناسایی‌شده و مدل شبیه‌سازی‌شده) نشان‌دهندهٔ دقت مدل شناسایی‌شده است. در قسمت بعد روشی تخمینی از پارامترهای سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر به‌دست آمده و با مقادیر سختی شناسایی‌شده برای شرایط مرزی مقایسه می‌شوند.

ارزیابی صحت پارامترهای شناسایی شده

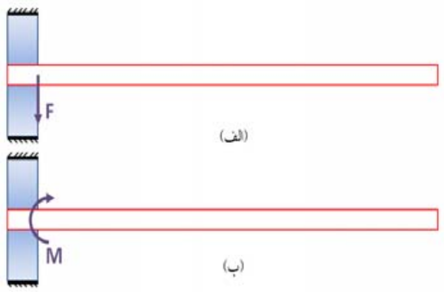
در این قسمت به بررسی صحت پارامترهای سختی شناسایی‌شده برای تکیه‌گاه سازهٔ تیرمانند پرداخته می‌شود. برای انجام این کار باید تخمینی از پارامترهای سختی تکیه‌گاه به‌دست آورد. تخمین پارامترهای سختی تکیه‌گاه را می‌توان با انجام تحلیل‌های استاتیکی به روشی که در ادامه تشریح می‌شود به‌دست آورد.



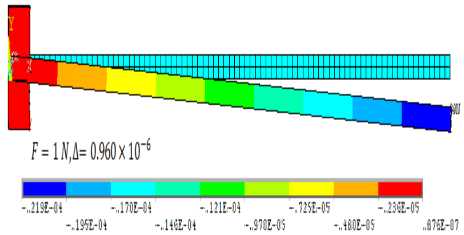
شکل ۳ تغییرات تابع هدف و پارامترهای شرایط مرزی در فرآیند شناسایی، شبیه‌سازی (□) و تجربی (o).

به‌منظور تعیین k_w نیروی F مطابق شکل (۴-الف) به سازه در محل تکیه‌گاه وارد و با تحلیل استاتیکی مدل اجزای محدود تغییر شکل (جابه‌جایی) عمودی محل اثر نیرو (Δ) تعیین می‌شود. باتوجه به رفتار خطی مدل اجزای محدود می‌توان فرض نمود $F = k_w\Delta$ و بااستفاده از این رابطه تخمینی از سختی نرمال تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر در محل اعمال نیرو به‌دست آورد. به‌صورت مشابه، جهت تعیین k_θ گشتاور M مطابق شکل (۴-ب) به سازه در محل تکیه‌گاه وارد و با تحلیل استاتیکی مدل اجزای محدود تغییر شکل (جابه جایی) زاویه‌ای محل اثر گشتاور Θ تعیین می‌شود. با فرض رابطهٔ خطی $M = k_\theta\Theta$ بین گشتاور اعمالی و تغییرشکل زاویه‌ای سختی پیچشی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر به‌دست می‌آید. لازم بذکر است چون امکان اعمال گشتاور به المان solid185 وجود ندارد، گشتاور M بااستفاده از یک زوج نیرو شبیه‌سازی شده است.

نتایج تحلیل استاتیکی (کانتور جابه‌جایی) به‌منظور تخمین k_w در شکل (۵) ارائه شده است. در جدول (۲) مقادیر ضرایب سختی تخمینی و شناسایی‌شده باهم مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که نتایج ارائه‌شده در جدول (۲) نشان می‌دهد روش شناسایی ارائه شده به‌خوبی قادر به تعیین پارامترهای سختی تکیه‌گاه بااستفاده از فرکانس‌های طبیعی سازه می‌باشد. در مورد اختلاف موجود بین مقادیر سختی شناسایی‌شده و تخمینی باید به این نکته توجه نمود، که در مدل دینامیکی که براساس آن پارامترهای تکیه‌گاه شناسایی شده‌اند، اثر تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر تیر در یک نقطه به‌صورت فنرهای خطی و پیچشی مدل‌سازی شده است. در حالی که در سازهٔ واقعی (مدل اجزای محدود) تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر در یک محدودهٔ طولی (در این مثال 2cm) قرار می‌گیرد و دینامیک سازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین اختلاف بین فرکانس‌های طبیعی که در جدول (۱) گزارش شده است و اختلاف بین پارامترهای سختی تکیه‌گاه ارائه شده در جدول (۲) را می‌توان به اثر توزیعی تکیه‌گاه در مدل اجزای محدود و اثر نقطه‌ای تکیه‌گاه در مدل دینامیکی نسبت داد.



شکل ۴ نحوه اعمال نیرو و گشتاور برای تخمین پارامترهای سختی تکیه‌گاه



شکل ۵ کانتور جابه‌جایی تیر بر اثر اعمال نیرو در محل تکیه‌گاه

جدول ۲ مقادیر سختی تخمینی و شناسایی شده برای تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر

$k_\theta\ (\frac{Nm}{rad})$	$k_w\ (\frac{N}{m})$	
181.96	8.19×10^5	مقادیر تخمینی
175.229	5.829×10^5	مقادیر شناسایی

در قسمت بعد به بررسی اثر سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر روی نتایج شناسایی شده پرداخته می‌شود.

بررسی اثر سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر

سختی (مدول الاستیسیته) تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر ممکن است نتایج شناسایی را تحت تأثیر قرار دهد. در این قسمت به بررسی اثر سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر روی نتایج شناسایی‌شده پرداخته می‌شود. برای این منظور سه مقدار مختلف برای مدول الاستیسیتهٔ بلوک‌های قرار گرفته به‌جای تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر درنظر گرفته می‌شود و پس از تحلیل مودال و تعیین فرکانس‌های طبیعی، به شناسایی پارامترهای سختی تکیه‌گاه پرداخته می‌شود. هم‌چنین تخمین پارامترهای سختی تکیه‌گاه بااستفاده از روش ارائه شده در قسمت قبل نیز به‌دست می‌آیند و با مقادیر شناسایی‌شده مقایسه می‌شوند. مقادیر مدول الاستیسیتهٔ درنظر گرفته شده برای بلوک‌های قرار گرفته به‌جای تکیه‌گاه الاستیک در مدل اجزای محدود به‌ترتیب $E_1 = 200$ Mpa (حالت اول)، $E_2 = 1$ Gpa (حالت دوم) و $E_3 = 3$ Gpa (حالت سوم) درنظر گرفته می‌شود. چگالی و مدول یانگ برای همهٔ حالت‌ها برابر با $\rho = 690\ kg/m^3$ و $\upsilon = 0.45$ فرض می‌شوند. نتایج نهایی در جدول‌های (۳ و ۴) ارائه شده‌اند. مقادیر تخمینی سختی تکیه‌گاه با مقادیر شناسایی‌شده در جدول (۳) مقایسه شده‌اند.

جدول ۳ مقایسهٔ ضرایب سختی تخمینی و شناسایی‌شده

$k_\theta\ (Nm/rad)$	$k_w\ (N/m)$	
	حالت اول	
347.3	1.63×10^6	مقادیر تخمینی
345.52	8.14×10^5	مقادیر شناسایی
	حالت دوم	
1.28×10^3	7.7×10^6	مقادیر تخمینی
1.54×10^3	2.32×10^6	مقادیر شناسایی
	حالت سوم	
2.37×10^3	2.06×10^7	مقادیر تخمینی
3.75×10^3	5.16×10^6	مقادیر شناسایی

در جدول (۴) فرکانس‌های طبیعی حاصل از مدل اجزای محدود و حاصل از مدل شناسایی‌شده برای حالت‌های سه‌گانهٔ فوق‌الذکر باهم مقایسه شده‌اند.

جدول ۴ مقایسهٔ فرکانس‌های طبیعی شبیه‌سازی و شناسایی

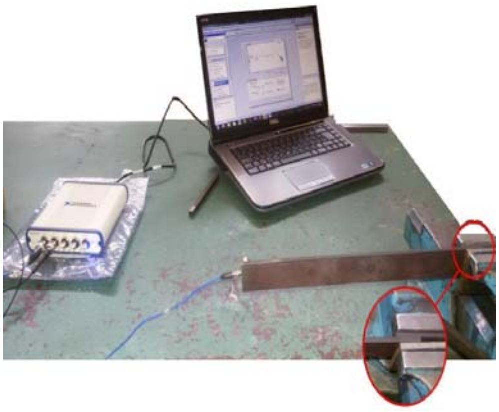
مود۴	مود۳	مود۲	مود۱	
		حالت اول		
1434.6	715.66	239.56	31.029	شبیه‌سازی
1305.6	697.42	241.9	31.036	شناسایی
−8.99	−2.55	0.98	0.024	خطا (٪)
		حالت دوم		
1542.67	784.35	277.51	43.468	شبیه‌سازی
1491.2	778.96	278.71	43.476	شناسایی
−3.34	−0.69	0.43	−0.017	خطا (٪)
		حالت سوم		
1621.33	830.97	297.47	47.487	شبیه‌سازی
1600.6	829.26	298.02	47.483	شناسایی
−1.3	−0.21	0.18	−0.008	خطا (٪)

نتایج ارائه‌شده در جدول‌های (۳ و ۴) نشان می‌دهد که تغییر سختی تکیه‌گاه تأثیر چندانی روی نتایج شناسایی‌شده ندارد. به عبارت دیگر روش مورد استفاده در این مقاله قادر به شناسایی پارامترهای سختی معادل شرایط مرزی سازه‌های تیرمانند برای بازهٔ وسیعی از مدول الاستیسیتهٔ تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر می‌باشد. در قسمت بعد به ارزیابی دقت روش مورد استفاده در این مقاله بااستفاده از نتایج تجربی پرداخته می‌شود.

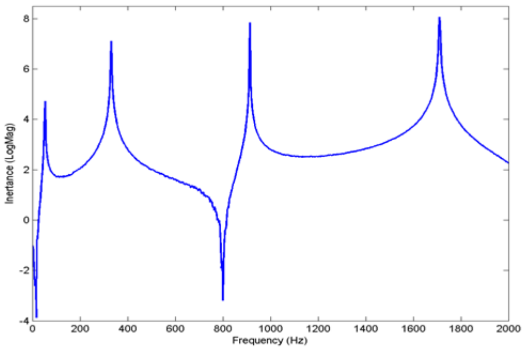
شناسایی توسط نتایج تجربی

در این قسمت بااستفاده از نتایج تجربی به شناسایی پارامترهای شرایط مرزی یک تیر دارای تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر پرداخته می‌شود. تیری فولادی به ابعاد سطح مقطع $3\text{cm} \times 0.6\text{cm}$ و طول 28.3cm توسط دو قطعهٔ فولادی به ابعاد $3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 0.6\text{cm}$ مطابق شکل (۶) به تکیه‌گاه متصل می‌شود. قطعات فولادی استفاده‌شده در تکیه‌گاه، ایجاد یک تکیه‌گاه غیرصلب می‌کنند که در این قسمت هدف شناسایی پارامترهای سختی معادل خطی و پیچشی متناظر با تکیه‌گاه تیر بااستفاده از تئوری تشریح شده در قسمت‌های قبلی و به‌کمک فرکانس‌های طبیعی می‌باشد. خواص مواد تیر فولادی به‌صورت $E_{st} = 200\ \text{Gpa}$، $\rho_{st} = 7828\ \text{kg/m}^3$ درنظر گرفته می‌شود.

برای اندازه‌گیری فرکانس‌های طبیعی از آزمایش مودال تجربی استفاده می‌شود. برای این منظور، تیر بااستفاده از یک چکش مودال در یک نقطه تحریک می‌شود. نیروی اعمالی به تیر و پاسخ دینامیکی آن به‌ترتیب بااستفاده از نیروسنج قرار گرفته روی چکش و شتاب سنج نصب‌شده در نوک تیر اندازه‌گیری می‌شود. شتاب‌سنج و نیروسنج مورد استفاده ساخت شرکت Kistler می‌باشد. با انتقال سیگنال‌های نیرو و شتاب به یک کارت داده برداری مدل NI USB-4432 و در انتها پردازش توسط نرم‌افزار لب ویو نمودارهای پاسخ فرکانسی اندازه‌گیری می‌شوند. بااستفاده از نمودارهای پاسخ فرکانسی فرکانس‌های طبیعی استخراج می‌شوند. آرایش انجام آزمایش در شکل (۶) نشان داده‌شده است. شکل (۷) نمونه‌ای از نمودارهای پاسخ فرکانسی اندازه‌گیری‌شده را نشان می‌دهد. فرکانس‌های طبیعی حاصل از نمودارهای پاسخ فرکانسی در جدول (۵) ارائه شده‌اند.



شکل ۶ آرایش انجام آزمایش



شکل ۷ نمودار پاسخ فرکانسی

جدول ۵ مقایسه فرکانس‌های طبیعی (Hz) برای نتایج تجربی

	مود۱	مود۲	مود۳	مود۴
تکیه‌گاه صلب	۶۱/۲۰۳	۳۸۳/۳۸	۱۰۷۳/۶	۲۱۰۳/۳
تجربی	۵۲	۳۲۹	۹۲۴	۱۸۳۲
شناسایی	۵۲	۳۳۱/۲۹	۹۱۳/۲۷	۱۷۱۰/۴
خطا (٪)	-۰/۰۱	۰/۶۹	-۱/۱۶	-۶/۶۴

به‌منظور ارزیابی میزان تأثیر تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر روی فرکانس‌های طبیعی، فرکانس‌های طبیعی یک تیر یک‌سرگیردار (تکیه‌گاه صلب) با مشخصات هندسی و خواص مواد مشابه سازهٔ آزمایشی به‌صورت تئوری محاسبه و در جدول (۵) با فرکانس‌های طبیعی سازهٔ واقعی (با تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر) مقایسه شده است. همان‌گونه که جدول (۵) نشان می‌دهد انعطاف‌پذیری ایجادشده در تکیه‌گاه سازهٔ واقعی توسط بلوک‌های فولادی باعث کاهش فرکانس‌های طبیعی آن نسبت به یک سازه گیردار شده است. لازم به‌ذکر است که فرکانس‌های طبیعی تیر با تکیه‌گاه صلب از حل معادلهٔ مشخصهٔ آن یعنی $\cos(\lambda L)\cosh(\lambda L) + 1 = 0$ به‌دست می‌آید.

برای شناسایی پارامترها از روابط ارائه‌شده در بخش روش شناسایی پارامترهای شرایط مرزی استفاده می‌شود. با درنظر گرفتن یک دسته مقادیر اولیه برای پارامترهای سختی شرایط مرزی $(k_{\theta 0} = 1000\ \mathrm{Nm/rad}$ و $k_{w0} = 1 \times 10^8\ \mathrm{N/m})$ و جای‌گذاری فرکانس‌های طبیعی حاصل از آزمایش درون روابط (۲۲-۱۸) و حل معادلهٔ (۱۹) به‌صورت تکرار، پارامترهای شرایط مرزی به‌صورت $k_\theta = 4060.7\ \mathrm{Nm/rad}$ و $k_w = 7.983 \times 10^6\ \mathrm{N/m}$ شناسایی می‌شوند. تغییرات تابع هدف و پارامترهای تکیه‌گاه در فرآیند شناسایی در شکل (۳) نشان داده‌شده است. فرکانس‌های طبیعی حاصل از مدل شناسایی شده با فرکانس‌های طبیعی آزمایش در جدول (۳) مقایسه شده‌اند. باتوجه به این‌که مقادیر واقعی پارامترهای تکیه‌گاه برای سازهٔ نشان داده‌شده در شکل (۶) در دسترس نمی‌باشد، برای بررسی دقت پارامترهای شناسایی‌شده تنها به مقایسهٔ فرکانس‌های طبیعی بسنده می‌شود. زیرا همان‌گونه که برای سازهٔ شبیه‌سازی‌شده نشان داده شد، در صورتی که فرکانس‌های طبیعی حاصل از مدل شناسایی‌شده با سازهٔ اصلی با دقت قابل قبولی به هم نزدیک باشند، مقادیر سختی شناسایی‌شده نیز به مقادیر سختی واقعی نزدیک می‌باشند. مقایسهٔ نتایج ارائه‌شده در جدول‌های (۳-۱) نشان می‌دهند که روش مورد استفاده در تعیین پارامترهای شرایط مرزی موفق بوده است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به شناسایی پارامترهای شرایط مرزی برای تیرهایی که به‌صورت غیرصلب به تکیه‌گاه متصل شده‌اند پرداخته شده است. برای این منظور یک روش شناسایی بر پایهٔ استفاده از فرکانس‌های طبیعی در معادلهٔ مشخصهٔ دینامیکی معرفی می‌شود. با مینیمم نمودن نرم بردار معادلات مشخصه به‌ازای فرکانس‌های طبیعی در مراحل تکرار مختلف، پارامترهای شرایط مرزی به‌دست می‌آیند. دقت روش شناسایی بااستفاده از نتایج تجربی و شبیه‌سازی‌شده ارزیابی شده است. نتایج شناسایی نشان می‌دهد که روش مورد استفاده دقت لازم برای تعیین پارامترهای شرایط مرزی را دارا می‌باشد. هم‌چنین اثر تغییرات سختی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر روی مقادیر شناسایی‌شده برای شرایط مرزی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

فهرست علائم

E	مدول الاستیسیته	Pa
k_w	سختی فنر خطی	N/m
k_θ	سختی فنر پیچشی	Nm/rad
A	سطح مقطع	m^2

علائم یونانی

ρ	چگالی	Kg/m^3
υ	ضریب پواسون	
ω	فرکانس طبیعی	Hz

مراجع

1. Guo, T., Li, L., Cai, L. and Zhao, Y., "Alternative method for identification of the dynamic properties of bolted joints", *Mechanical Science and Technology*, Vol. 26, No. 10, pp. 3017-3027, (2012).
2. Valle, J.L.Z., Blasco, J.A., Martinez, M.P.G., Gimeno, J.M.F. and Dieguez, M.G., "Modelling and calibration of a beam-column joint based on modal data", *Computers and Structures*, Vol. 108-109, pp. 31-41, (2012).
3. Gant, F., Rouch, P., Louf, F. and Champaney, L., "Definition and updating of simplified models of joint stiffness", *Solids and Structures*, Vol. 48, pp. 775–784, (2011).
4. Tol, S. and Ozguven, H.N., "Dynamic characterization of bolted joints using FRF decoupling and optimization", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 54-55, pp. 124–138, (2015).
5. Cao, H., Li, B. and He, Z., "A joint stiffness identification method based on finite element modeling and frequency response functions", *Vibroengineering*, Vol. 14, Issue. 2, pp. 611-620, (2012).
6. Hwang, H.Y., "Identification techniques of structure connection parameters using frequency response functions", *Sound and Vibration*, Vol. 212, No. 3, pp. 469-479, (1998).
7. Zhang, B., Waters, T.P. and Mace, B.R., "Identifying joints from measured reflection coefficients in beam-like structures with application to a pipe support", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 24, pp. 784–795, (2010).
8. Ahmadian, H., Mottershead, J.E. and Friswell, M.I., "Boundary condition identification by solving characteristic equations", *Sound and vibration*, Vol. 247, No. 5, pp. 755-763, (2001).
9. Li, W.L., "A new method for structural model updating and joint stiffness identification", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 16, No. 1, pp. 155-167, (2002).
10. Jalali, H., "Linear contact interface parameter identification using dynamic characteristic equation", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 66–67, pp. 111–119, (2016).
11. Harville, D.A., "*Matrix Algebra from a Statistician's Perspective*", Springer-Verlag publication. Inc., New York, pp. 1-11, (1997).